



DE 199 40 007 A 1

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 199 40 007 A 1

51 Int. Cl.⁷:
G 05 D 1/02
B 62 D 6/00

21 Aktenzeichen: 199 40 007.5
22 Anmeldetag: 24. 8. 1999
43 Offenlegungstag: 8. 3. 2001

71 Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE
74 Vertreter:
Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker, 70188
Stuttgart

72 Erfinder:
Wetzel, Gabriel, 70435 Stuttgart, DE

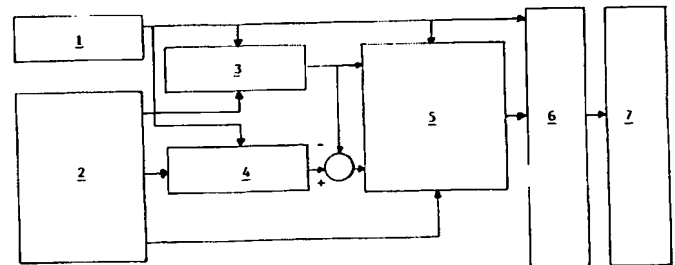
56 Entgegenhaltungen:
US 59 31 252 A
US 51 81 173 A
EP 09 31 712 A2
EP 08 49 144 A2
EP 08 35 797 A2
EP 08 35 796 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und Vorrichtung zur Unterstützung des Einparkens eines Kraftfahrzeugs

57 Die Erfindung befasst sich mit einem Verfahren und einer Vorrichtung zur Unterstützung des Einparkens eines Kraftfahrzeugs, d. h. mit einem Einparkassistenten. Aus von Sensoren (2) gelieferten Fahrzeugzustandssignalen wird in einem Funktionsblock (3) eine Soll-Trajektorie berechnet. Diese besteht aus Klothoidbögen und/oder Kreisbögen. Ferner wird auf der Basis der von den Sensoren (2) gelieferten Signale, insbesondere eines Gierwinkelsignals und eines Wegesignals, eine Ist-Trajektorie in einem Funktionsblock (4) berechnet. Dann werden Soll- und Ist-Trajektorien verglichen, und das Vergleichsergebnis ermöglicht eine mit den Phasen des Einparkvorgangs schritthaltende Berechnung des Lenkwinkels, für den in einem Funktionsblock (5) eine Stellgröße ermittelt wird. Von den Sensoren (2) gelieferte Feed-back-Signale ermöglichen eine genaue Regelung der während des Einparkvorgangs eingeschlagenen Lenkwinkel. Lenkradeingriffe des Fahrers werden toleriert, haben aber keine Auswirkung auf den Lenkwinkel. Der Fahrer muss lediglich Gas- und Bremspedal betätigen, um die Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs zu beeinflussen.



DE 199 40 007 A 1

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Unterstützung des Einparkens eines Kraftfahrzeugs, das mit einem Lenkstellmotor und Sensoren zum Erfassen der Fahrzeugposition, des Fahrzustands und veränderlicher Umgebungsbedingungen ausgerüstet ist, wobei auf den Befehl eines Fahrers hin eine geregelte Unterstützung des Einparkvorgangs mittels des Lenkstellers und gestützt auf vorbestimmte Fahrzeugdaten und auf Signale der Sensoren ausgeführt wird, sowie ein zur Durchführung des Verfahrens eingerichtete Vorrichtung.

10 Bei einem zur Zeit bei der Robert Bosch GmbH in der Entwicklung befindlichen elektronischen Lenksystem wird durch einen am Lenkgetriebe der Vorderräder angebrachten elektronisch geregelten Lenksteller, ausgehend von einem von einem Lenkradsensor erfassten Fahrerlenkwunsch unter Berücksichtigung von fahrdynamischen Größen die Querdynamik durch eine Modifikation des dem Fahrerlenkwunsch entsprechenden Lenkwinkels verbessert, d. h., dass das Fahrzeug in fahrdynamischen Situationen stabilisiert wird. Das System weist einen Lenkstellmotor auf, der dem vom

15 Fahrer gestellten Lenkwinkel einen Korrekturwinkel hinzuaddiert.

Die DE 29 01 504 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Einparken von Kraftfahrzeugen, welche mit einer reinen Steuerung des Einparkvorgangs arbeitet. Dabei werden keine den Verlauf der Einpark-Trajektorie verändernde Feed-Back-Signale berücksichtigt, sondern statt dessen feste Trajektorien vorgegeben.

20 Aus dem Patent FR 2 728 859 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Regelung des Einparkvorgangs bekannt. Dabei ist aber der Fahrer noch zuständig, um Lenkeingriffe durchzuführen. Dazu werden Sensoren verwendet, die den Gierwinkel und den Lenkwinkel erfassen. Unbefriedigend ist dabei, dass die Leistung des damit realisierten Systems durch die relativ große Totzeit des Fahrers bei den Lenkeingriffen beeinträchtigt ist.

Aufgabe und Vorteile der Erfindung

25 Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Unterstützung des Einparkens eines Kraftfahrzeugs so zu ermöglichen, dass das Fahrzeug automatisch in die Parklücke lenkt, der Fahrer aber selbst durch Gaspedal- und Bremspedaleingriffe die Geschwindigkeit regelt.

Die obige Aufgabe wird anspruchsgemäß gelöst.

30 Gemäß einem wesentlichen Aspekt ist das die obige Aufgabe lösende Verfahren gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- A Erfassung einer das unterstützte Einparken initiiierenden Befehlseingabe des Fahrers und Erzeugung eines Initialisierungssignals;
- 35 B Erfassung der momentanen Fahrzeugposition und des Fahrzustands aus den Fahrzeugdaten und wenigstens aus einem Gierwinkelsignal und aus einem Wegesignal;
- C Erfassung der Umgebungsbedingungen aus von an dem Fahrzeug angebrachten Sensoren erzeugten Signalen;
- D Vorgabe einer oder mehrerer Soll-Trajektorien, die eine von der Fahrzeugposition, dem Fahrzustand, den Umgebungsbedingungen und den Fahrzeugdaten abhängige Soll-Bahnkurve des einzuparkenden Fahrzeugs angeben;
- 40 E Erfassung einer jeweiligen Ist-Trajektorie, abhängig von den jeweiligen in den Schritten B und C erfassten Signalen;
- F Vergleich der in Schritt D vorgegebenen Soll-Trajektorie und der in Schritt E erfassten Ist-Trajektorie; und
- G Berechnung der jeweiligen Stellgröße für den Lenkstellmotor aus dem in Schritt F erhaltenen Vergleichsergebnis.

45 Dabei wird das in Schritt B erfasste Wegesignal vorteilhafterweise von einem Weggeber, vorzugsweise von je einem an jedem Fahrzeuggrad befindlichen Radgeschwindigkeitssensor, erfasst. Das ebenfalls in Schritt erfasste Gierwinkelsignal kann entweder durch einen geeigneten Sensor gemessen werden oder aber aus geeigneten Signalen, bspw. aus der Drehrate eines Drehratsensors und/oder aus den Radgeschwindigkeiten, rekonstruiert werden.

50 Die Umgebungsbedingungen werden in Schritt C vorzugsweise mittels eines Ultraschallsensors erfaßt. Es ist jedoch auch denkbar Radarsensoren oder optische Sensoren, z. B. Kameras, einzusetzen. Die in Schritt C erfassten Umgebungsbedingungen können die Form oder Ausmaße einer Parklücke angeben.

Die oder jede in Schritt D vorgegebene Soll-Trajektorie wird bevorzugt aus einem oder mehreren Klothoidbögen und/oder aus einem oder mehreren Kreisbögen zusammengesetzt. Ein Klothoid ist eine ebene Kurve, deren Krümmungsradius gemäß der Beziehung $R = a \cdot a/s$ (R : Krümmungsradius; s : Bogenlänge; a : Parameter) stetig kleiner wird.

55 Um zu vermeiden, dass die Lenkbeschleunigung und der Lenkruck zu hoch werden, wird die im Schritt E berechnete Stellgröße einer Filterung unterworfen, die abrupte Übergänge an den Flanken der Stellgröße glättet.

Eine zur Durchführung des Verfahrens eingerichtete Vorrichtung weist erfindungsgemäß eine Regel-/Steuereinheit, die von den Sensoren in Abhängigkeit von der Fahrzeugposition, dem Fahrzustand und den veränderlichen Umgebungsbedingungen erzeugten Signale sowie die Fahrzeugdaten empfängt, Mittel zur Berechnung einer Ist-Trajektorie aus den Sensordaten und den Fahrzeugdaten, Mittel zum Vergleich der jeweils berechneten Ist-Trajektorie mit einer vorbestimmten Soll-Trajektorie und Mittel zur Berechnung einer Stellgröße für einen Lenkstellmotor aus dem Vergleichsergebnis auf.

60 Die das Verfahren durchführende Regel-/Steuereinheit kann über Filtermittel verfügen oder über Filtermittel mit dem Lenkstellmotor verbunden sein, so dass die berechnete Stellgröße in der oben beschriebenen Weise gefiltert werden kann.

Das oben spezifizierte Verfahren und die Vorrichtung bieten gegenüber dem Stand der Technik mehrere Vorteile:

- Es wird keine echte elektronische Steer-by-Wire-Lenkung benötigt. Der bei dem in der Entwicklung befindlichen fahrdynamischen Lenksystem eingesetzte Lenkstellmotor ist ausreichend, da er automatische, genaue und sehr feine Lenkeingriffe ermöglicht.
- Die verwendeten Sensoren ermöglichen eine genaue Berechnung der gefahrenen Bahnkurve und damit eine genaue Regelung des Einparkvorgangs mit ständigen Korrekturen und Anpassungen.
- Die Auswahl der jeweiligen Soll-Trajektorie und ihre Kombination aus Klothoidbögen und Kreisbögen ermöglicht eine einfache Beschreibung der Trajektorie und eine schnelle Berechnung des Vergleichsergebnisses zwischen Ist- und Soll-Trajektorie während des Einparkvorgangs.
- Die durch die Regel-/Steuereinheit ausgeführte Regelung ermöglicht ein präzises Manöver und temporäre Abweichungen von der Soll-Trajektorie, um den Fahrkomfort zu erhöhen.
- Die Filterung erhöht den Fahrkomfort, da sie ruckhafte Bewegungen des Lenkrads glätten kann.

Die nachstehende Beschreibung beschreibt ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens und erläutert gleichzeitig die Durchführung durch die erfindungsgemäße Vorrichtung unter Bezug auf die beiliegende Zeichnung.

Zeichnung

- Fig. 1** zeigt schematisch Funktionsblöcke der erfindungsgemäßen Vorrichtung;
- Fig. 2** zeigt graphisch die geometrische Grundlage zur Ermittlung einer Bahnkurve über den Zusammenhang zwischen dem Krümmungsradius R , dem Winkel θ und dem Weg s ;
- Fig. 3** zeigt graphisch ein Klothoid als eine Kurve, deren Krümmung $c(s)$ sich linear mit dem Weg s verändert;
- Fig. 4** veranschaulicht in einer ebenen Darstellung eines Kraftfahrzeugs Größen, die zur Bestimmung der Klothoidbögen dienen;
- Fig. 5** erläutert graphisch eine Trajektorie und einen Lenkwinkel für einen Fall, wo eine Fahrt am Lenkeinschlag notwendig ist;
- Fig. 6** zeigt graphisch eine Trajektorie und einen Lenkwinkel für einen Fall, wo keine Fahrt am Lenkeinschlag notwendig ist;
- Fig. 7** zeigt eine mit dem dargestellten Algorithmus erzielte Einpark-Trajektorie.

Ausführungsbeispiel

Das im nachfolgenden Text dargestellte Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Unterstützung des Einparkens eines Kraftfahrzeugs und einer zur Durchführung des Verfahrens eingerichteten Vorrichtung (kurz: Einparkassistent) verwendet insbesondere folgende Sensoren:

- Ultraschallsensoren zur Erfassung der Umgebungsbedingungen;
- aktive Radgeschwindigkeitssensoren, die Radgeschwindigkeitssignale bis zum Stillstand des Fahrzeugs liefern;
- einen Lenkwinkelsensor;
- einen Drehratensensor, mit dem Signale über die Giergeschwindigkeit erfassbar sind; und
- (optionell) einen Querbeschleunigungssensor.

Es ist denkbar, in einem anderen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung einen oder mehrere der beispielhaft angeführten Sensoren wegzulassen, entweder weil das erfindungsgemäße Verfahren auch ohne das von dem entsprechenden Sensor gelieferte Sensorsignal voll funktionsfähig ist, oder weil das Sensorsignal aus anderen Sensorsignalen rekonstruiert werden kann. Welche Sensoren zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens tatsächlich eingesetzt werden kann von einem Fachmann anhand seines Fachwissens im Einzelfall entschieden werden. Es wäre es bspw. denkbar, auf einen Drehratensensor zu verzichten und das Drehratensignal aus anderen Sensorsignalen zu rekonstruieren.

Fig. 1 zeigt Funktionsblöcke des Einparkassistenten. Aus dem Block 1 stehen Fahrzeugdaten zur Verfügung. Beispielsweise ist der Block 1 ein Speicher, in dem die Fahrzeugdaten abgespeichert sind. Eine alternative Möglichkeit ist ein Regel-/Steuerwerk, das die Fahrzeugdaten enthält. Der Block 2 ist der Sensorblock, der die oben erwähnten Sensoren umfasst. Der Funktionsblock 3 berechnet die Soll-Trajektorie in der weiter unten beschriebenen Weise und erhält dazu die Fahrzeugdaten aus dem Block 1 und die Sensorsignale aus dem Block 2.

Ein zur Ermittlung der Ist-Trajektorie vorgesehener Funktionsblock 4 erhält ebenfalls die Fahrzeugdaten aus dem Block 1 und die Sensorsignale aus dem Block 2 als Eingangssignale. Insbesondere ist der Drehratensensor zur Rekonstruktion des Gierwinkels wichtig. Alternativ kann der Gierwinkel auch durch einen entsprechenden Gierwinkelsensor gemessen werden.

Die im Block 3 vorgegebene Soll-Trajektorie und die im Block 4 ermittelte Ist-Trajektorie werden in einem Vergleich 8 verglichen. Aus dem Vergleichsergebnis und aus Signalen der Blöcke 1 und 2 berechnet der Funktionsblock 5 die Stellgröße. Der Vergleich zwischen den Soll- und Ist-Trajektorien ermöglicht eine genaue Regelung des Lenkwinkels mittels der im Block 5 berechneten Stellgröße. Diese Regelung ist möglich, da die Lenkeingriffe von einer Regel-/Steuereinheit ausgeführt werden. Die im Funktionsblock 5 berechnete Stellgröße wird im Funktionsblock 6 gefiltert. Diese Filterung bewirkt eine Glättung der Flanke der Stellgröße und erreicht damit, dass die Lenkbeschleunigung und der Ruck am Lenkrad nicht zu hoch werden. Außerdem werden dem Funktionsblock 6 auch Fahrzeugdaten aus dem Block 1 zugeführt und dort gefiltert oder in die Filterung der Stellgröße mit einbezogen.

In dem Vergleich 8 können neben der Ist- und der Soll-Trajektorie auch Fahrzustandssignale, bspw. die Orientierung des Kraftfahrzeugs, miteinander oder mit den Fahrzeugdaten verglichen werden. Der Funktionsblock 7 repräsentiert ein Stellglied, das als ein Lenkstellmotor ausgebildet ist. Die Sensoren und der Lenkstellmotor können Teil eines fahrdyna-

mischen Lenksystems des Kraftfahrzeugs sein. Die zusätzlichen Kosten für eine erfindungsgemäße Vorrichtung in einem Kraftfahrzeug können so auf ein Minimum reduziert werden.

Die oben bezogen auf Fig. 1 beschriebenen Funktionen des Einparkassistenten können von einer Regel-/Steuereinheit, z. B. einem ohnehin im Fahrzeug vorhandenen Fahrzeugrechner ausgeführt werden.

5 Nachstehend werden unter Bezug auf die Fig. 2 und 3 die geometrischen Grundlagen zur Ermittlung einer Trajektorie auf der Basis eines Klothoidbogens beschrieben.

In Fig. 2 ist graphisch der Zusammenhang zwischen dem Krümmungsradius R, dem Winkel θ und dem Weg s einer beliebigen Bahnkurve veranschaulicht. Fig. 2 zeigt, wie der Winkel θ sich mit der Änderung des Wegs s in Abhängigkeit vom Krümmungsradius R verhält. Die Krümmung $c(s)$ ist mit Gleichung 1.1 gegeben:

10

$$c(s) = \frac{d\theta}{ds} \quad \text{Gl. 1.1}$$

15

Der Winkel θ berechnet sich aus dem Weg s anhand der folgenden Gleichung:

$$20 \quad \theta(s) = \theta_0 + \int_0^s \frac{d\theta}{ds} \cdot ds \quad \text{Gl. 1.2}$$

Diese Gleichung läßt sich mit Hilfe der Gleichung 1.1 wie folgt ausdrücken:

$$25 \quad \theta(s) = \theta_0 + \int_0^s c(s) \cdot ds \quad \text{Gl. 1.3}$$

Aus dem Winkel $\theta(s)$ werden die kleinen Änderungen (dx, dy) der kartesischen Koordinaten (x, y) berechnet:

30

$$\begin{bmatrix} dx(s) \\ dy(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) \cdot ds \\ \sin(\theta) \cdot ds \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 1.4}$$

35

Die Koordinaten (x, y) werden aus der Gleichung 1.4 abgeleitet:

$$40 \quad \begin{bmatrix} x(s) \\ y(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 + \int_0^s \cos\left(\theta_0 + \int_0^w c(w) \cdot dw\right) \cdot dt \\ y_0 + \int_0^s \sin\left(\theta_0 + \int_0^w c(w) \cdot dw\right) \cdot dt \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 1.5}$$

45

Die allgemeine Gleichung 1.5 wird für den speziellen Fall der Klothoide vereinfacht. Die Klothoide ist eine Kurve, deren Krümmung $c(s)$ sich linear mit dem Weg s verändert. Diese Kurve wird auch als Cornu-Spirale (siehe Fig. 3) bezeichnet.

$$c(s) = k \cdot s + c_0 \quad \text{Gl. 1.6}$$

50

Aus dem Einsatz der Krümmung (siehe Gl. 1.6) in die Formel 1.5 ergibt sich:

$$55 \quad \begin{bmatrix} x(s) \\ y(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 + \int_0^s \cos\left(\theta_0 + \int_0^w (k \cdot w + c_0) \cdot dw\right) \cdot dt \\ y_0 + \int_0^s \sin\left(\theta_0 + \int_0^w (k \cdot w + c_0) \cdot dw\right) \cdot dt \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 1.7}$$

60

was sich unter den Bedingungen:

$$\theta_0 = 0, x_0 = 0, c_0 = 0, y_0 = 0 \quad \text{Gl. 1.8}$$

65

wie folgt vereinfachen lässt:

$$\begin{bmatrix} x(s) \\ y(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \int_0^s \cos\left(\frac{1}{2}k \cdot t^2\right) \cdot dt \\ \int_0^s \sin\left(\frac{1}{2}k \cdot t^2\right) \cdot dt \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 1.9}$$

Die Integration der Funktionen $\sin(u^2)$ und $\cos(u^2)$ ist nicht trivial. Dafür wird die Reihenentwicklung der trigonometrischen Funktionen angewandt.

$$\begin{bmatrix} x(s) \\ y(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \int_0^s \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \cdot \frac{\left(\frac{1}{2}k \cdot t^2\right)^{2n}}{(2n)!} \cdot dt \\ \int_0^s \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \cdot \frac{\left(\frac{1}{2}k \cdot t^2\right)^{2n+1}}{(2n+1)!} \cdot dt \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 1.10}$$

Unter bestimmten Bedingungen von Konvergenzen der Reihen (Gl 1.10) kann die Reihenfolge der Summe und der Integration invertiert werden. Diese Bedingungen sind in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel (Gl. 1.10) erfüllt.

$$\begin{bmatrix} x(s) \\ y(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\int_0^s (-1)^n \cdot \frac{\left(\frac{1}{2}k \cdot t^2\right)^{2n}}{(2n)!} \cdot dt \right) \\ \sum_{n=0}^{\infty} \left(\int_0^s (-1)^n \cdot \frac{\left(\frac{1}{2}k \cdot t^2\right)^{2n+1}}{(2n+1)!} \cdot dt \right) \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 1.11}$$

Die Gleichung (1.11) lässt sich wie folgt transformieren:

$$\begin{bmatrix} x(s) \\ y(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \cdot \frac{k \cdot s^{4n+1}}{2 \cdot (4n+1) \cdot (2n)!} \\ \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \cdot \frac{k \cdot s^{4n+3}}{2 \cdot (4n+3) \cdot (2n+1)!} \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 1.12}$$

$$\begin{bmatrix} x(s) \\ y(s) \end{bmatrix} = \frac{k}{2} \cdot \begin{bmatrix} s - \frac{s^5}{10} + \frac{s^9}{120} - \frac{s^{13}}{9360} + \varepsilon\left(\frac{s^{17}}{685440}\right) \\ \frac{s^3}{3} - \frac{s^7}{42} + \frac{s^{11}}{1320} - \frac{s^{15}}{75600} + \varepsilon\left(\frac{s^{19}}{6894720}\right) \end{bmatrix} \quad \text{Gl. 1.13}$$

Die Gleichung 1.13 dient dazu, bedeutende Punkte der Trajektorie schnell zu berechnen. Im folgenden Abschnitt wird das Verfahren angewandt, um eine Einpark-Trajektorie zu berechnen.

Weiterhin wird bezogen auf die Fig. 4 bis 7 die Einpark-Trajektorie mit Hilfe eines Algorithmus berechnet, der auf der

vorangehend erläuterten Gleichung 1.13 beruht.

Intuitiver Lenkvorgang

- 5 Es sei angenommen, dass das zu parkende Fahrzeug parallel zu der Parklücke steht. Die Trajektorie in der Längsrichtung wird passend zu der existierenden Parklücke vorausgesetzt. Intuitiv soll die Einpark-Trajektorie die folgenden Phasen beinhalten:

1. Geradeaus rückwärts fahren,
- 10 2. weiterfahren (eventuell langsamer) und das Lenkrad nach rechts bis zu dem Lenkeinschlag drehen,
3. weiter rückwärts fahren,
4. Lenkrad nach links bis zum Lenkeinschlag drehen,
5. weiter rückwärts fahren,
6. Lenkrad wieder gerade stellen, und
- 15 7. das Fahrzeug anhalten.

Berechnung des Lenkwinkels

Die oben beschriebenen intuitiven Phasen sollen formalisiert werden.

- 20 – Wegen der einfachen Handhabung von Klothoiden wird angenommen, dass die Phasen **2**, **4** und **7** Klothoid-Trajektorien sind.
 – Wegen der Symmetrie des Einparkvorgangs sind die Phasen **2** und **6**, **3** und **5** symmetrisch.

Die Bestimmung der Phase **2** wird anhand der **Fig. 4** hergeleitet. Die Klothoide sind durch einen Parameter k bestimmt, der auf der Begrenzung des Lenkwinkels und der Fahr- und Lenkgeschwindigkeiten beruht.

25 Die Länge der Phase **3** ist so berechnet, dass das Fahrzeug tief genug in die Parklücke fährt. Der Einfluss dieser Länge auf die Trajektorie wird anhand der **Fig. 6** und **7** dargestellt. Insbesondere zeigt die **Fig. 6** die Trajektorie des Fahrzeugs, wenn die Phase **4** nicht existiert.

Die wichtigen Punkte für die Berechnung der Trajektorie sind in den **Fig. 5** und **6** mit den Buchstaben A, B, C, D, E, F, G, R gekennzeichnet.

30 In **Fig. 4** ist schematisch bei einem Fahrzeug mit eingeschlagenen Vorderrädern der sich ergebende Radius $R = 1/c(s)$ und der Lenkwinkel $\delta(s)$ dargestellt. Die Klothoide ergibt sich zu

$$c(s) = k \cdot s + c_0 \quad \text{Gl. 2.1}$$

35

Der Ackermannwinkel ist

$$\delta(s) = \arctan[L \cdot c(s)] \quad \text{Gl. 2.2}$$

40

$$c = \tan \left[\frac{\delta}{L} \right] \quad \text{Gl. 2.3}$$

Daraus ergibt sich:

45

$$k \cdot s^{\max} \leq \tan \left[\frac{\delta_v^{\max}}{L} \right] \quad \text{Gl. 2.4}$$

50 Dies ergibt

$$s^{\max} = \frac{1}{k} \cdot \tan \left[\frac{\delta_v^{\max}}{L} \right] \quad \text{Gl. 2.5}$$

55

Der Lenkwinkel ergibt sich zu:

$$\delta = \frac{L \cdot c}{1 + [L \cdot c]^2} = \frac{L \cdot k \cdot v}{1 + [L \cdot c]^2} \leq k \cdot L \cdot v^{\max} \leq \delta_M^{\max} \quad \text{Gl. 2.6}$$

60

Daraus erhält man den für die Klothoide bestimmenden Parameter:

$$65 \quad k = \frac{\delta_M^{\max}}{L \cdot v^{\max}} \quad \text{Gl. 2.7}$$

Dabei findet eine Begrenzung der Lenkwinkelgeschwindigkeit $\dot{\delta} \leq \delta_M^{\max}$, des Lenkwinkels $\delta \leq \delta_v^{\max}$ und der Fahr-

geschwindigkeit $v \leq v^{\max}$ statt. Das Ergebnis des Einparkvorgangs mit dem zuvor erläuterten Algorithmus ist in Fig. 7 dargestellt, welche in einem x-y-Koordinatensystem eine beispielhafte Einpark-Trajektorie und den zugrundeliegenden Soll-Lenkswinkel veranschaulicht.

Um die Steuerung im Fahrzeug zu programmieren, wird der gefahrene Weg benötigt. Im Fahrzeug wird dieser Weg mit aktiven Radgeschwindigkeitssensoren oder in vereinfachter Form mit Hilfe eines Wegebers gemessen. Die Radgeschwindigkeitssensoren können die Radgeschwindigkeit bis zur Geschwindigkeit Null präzise erfassen.

Bei dem oben beschriebenen System darf der Fahrer während des Einparkvorgangs Lenkeingriffe durchführen. Diese Lenkeingriffe haben aber keinen Einfluß auf das Manöver. Falls beim Einparken ein Hindernis im Wege steht, soll der Fahrer bremsen und den Einparkvorgang stoppen. Da der Lenkradwinkel mit dem zugrundeliegenden Lenksystem sensorisch erfasst wird, werden die Fahrereingriffe am Lenkrad durch den Lenkstellmotor während des Einparkens kompensiert. Diese Vorgehensweise ermöglicht, dass der Fahrer trotzdem das Gefühl hat, den Einparkvorgang selbst zu steuern und sich deshalb wohl fühlt.

Aufgrund der vom Drehratensensor gelieferten Signale wird der Gierwinkel berechnet. Bei hochdynamischen Fahrmanövern kann diese Berechnung u. U. zeitlich problematisch sein. Beim Einparken treten dagegen in der Regel keine Schwierigkeiten auf, da sich die Fahrgeschwindigkeit und die Dynamik des Fahrmanövers in Grenzen hält.

Somit ermöglicht der Einparkassistent über die Berechnung des Gierwinkels eine echte Regelung des Lenkwinkels durchzuführen, damit die Fahrzeugorientierung dem erwarteten Verhalten entspricht. Mit dieser Regelung können Fehler, die zu einer Abweichung zwischen den gefahrenen und der berechneten Trajektorie führen können, wie bspw. Fehler in der Lenkanlage oder unterschiedliche Reibungen, korrigiert werden.

Da der Sprung des dem Lenkstellmotor als Stellgröße zugeführten Signals zwischen den Phasen, in denen der Lenkwinkel konstant ist (Phasen 1, 3 und 5) und den Phasen, in denen sich der Lenkwinkel verändert, zunächst abrupt ist, wird die Stellgröße in dem in Fig. 1 gezeigten Funktionsblock 6 gefiltert, indem die abrupten Sprünge der Stellgröße geglättet werden. Dabei kann die Stellgröße gefiltert werden, damit die Lenkbeschleunigung begrenzt ist. Da die Soll-Trajektorie unverändert bleibt, können Abweichungen von der Soll-Trajektorie auftreten. Es werden also temporäre Abweichungen von der Soll-Trajektorie geduldet, um ein gleichförmiges Fahrmanöver zu ermöglichen und um dadurch den Fahrkomfort zu erhöhen. Die Abweichungen zwischen der Soll-Trajektorie und der Ist-Trajektorie werden im Laufe des Einparkvorgangs durch die Regel-/ Steuereinheit mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens korrigiert.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Unterstützung des Einparkens eines Kraftfahrzeugs, das mit einem Lenkstellmotor und Sensoren zum Erfassen der Fahrzeugposition, des Fahrzustands und veränderlicher Umgebungsbedingungen ausgerüstet ist, wobei auf den Befehl eines Fahrers hin eine geregelte Unterstützung des Einparkvorgangs mittels des Lenkstellers und gestützt auf vorbestimmte Fahrzeugdaten und auf Signale der Sensoren ausgeführt wird, **gekennzeichnet durch folgende Schritte:**

- A Erfassung einer das unterstützte Einparken initiiierenden Befehlseingabe des Fahrers und Erzeugung eines Initialisierungssignals;
- B Erfassung der momentanen Fahrzeugposition und des Fahrzustands aus den Fahrzeugdaten und wenigstens aus einem Gierwinkelsignal und aus einem Wegesignal;
- C Erfassung der Umgebungsbedingungen aus von an dem Fahrzeug angebrachten Sensoren erzeugten Signalen;
- D Vorgabe einer oder mehrerer Soll-Trajektorien, die eine von der Fahrzeugposition, dem Fahrzustand, den Umgebungsbedingungen und den Fahrzeugdaten abhängige Soll-Bahnkurve des einzuparkenden Fahrzeugs angeben;
- E Erfassung einer jeweiligen Ist-Trajektorie, abhängig von den jeweiligen in den Schritten B und C erfassten Signalen;
- F Vergleich der in Schritt D vorgegebenen Soll-Trajektorie und der in Schritt E erfassten Ist-Trajektorie; und
- G Berechnung der jeweiligen Stellgröße für den Lenkstellmotor aus dem in Schritt F erhaltenen Vergleichsergebnis.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Lenkstellmotor und zumindest ein Teil der Sensoren Teil eines fahrdynamischen Lenksystems des Kraftfahrzeugs sind.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das in Schritt B erfasste Wegesignal von je einem an jedem Fahrzeugrad befindlichen Radgeschwindigkeitssensor erfasst wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das in Schritt B erfasste Gierwinkelsignal von einem geeigneten Sensor gemessen wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das in Schritt B erfasste Gierwinkelsignal aus einem oder mehreren in den Schritten B und C anderweitig gemessenen Signalen, insbesondere aus einem Drehratensignal oder aus dem Wegesignal, rekonstruiert wird.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Umgebungsbedingungen in Schritt C mittels eines Ultraschallsensors erfasst werden.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die in Schritt C erfassten Umgebungsbedingungen die Form und/oder Ausmaße einer Parklücke angeben.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die oder jede in Schritt D vorgegebene Soll-Trajektorie aus einem oder mehreren Klothoidbögen und/oder einem oder mehreren Kreisbögen zusammengesetzt werden.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die im Schritt E berechnete Stellgröße einer Filterung unterworfen wird, um zu vermeiden, dass die Lenkbeschleunigung und der Lenkkruck zu hoch werden.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Lenkeingriffe des Fahrers toleriert werden, aber keinen Einfluss auf den Einparkvorgang nehmen.

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Einparkgeschwindigkeit durch Gas- und Bremspedaleingriffe des Fahrers beeinflusst und die Lenkwinkel ausschließlich durch die Stellbewegungen des Lenkstellmotors bewirkt werden.

12. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung eine Regel-/Steuereinheit, die von den Sensoren in Abhängigkeit von der Fahrzeugposition, dem Fahrzustand und den veränderlichen Umgebungsbedingungen erzeugten Signale sowie die Fahrzeugdaten empfängt, Mittel zur Berechnung einer Ist-Trajektorie aus den Sensorsignalen und den Fahrzeugdaten, Mittel zum Vergleich der jeweils berechneten Ist-Trajektorie mit einer vorbestimmten Soll-Trajektorie und Mittel zur Berechnung einer Stellgröße für einen Lenkstellmotor aus dem Vergleichsergebnis aufweist.

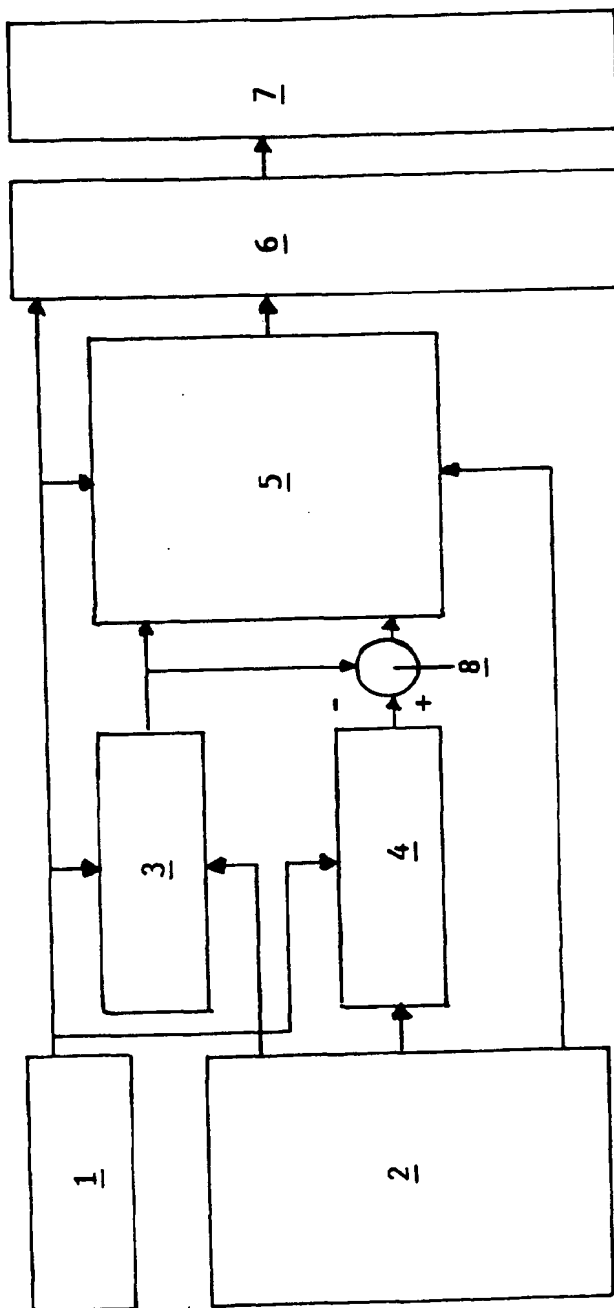
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Regel-/Steuereinheit die von den jeweiligen Sensoren erzeugten Signale sowie die Fahrzeugdaten von einer anderen Steuer-/Regeleinheit in dem Fahrzeug empfängt.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die andere Steuer-/Regeleinheit als ein fahrdynamisches Lenksystem des Fahrzeugs ausgebildet ist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass Filtermittel in funktioneller Verbindung mit der Regel-/Steuereinheit vorgesehen sind, um die von der Regel-/Steuereinheit berechnete Stellgröße so zu filtern, dass die Lenkbeschleunigung und der Lenkruck nicht zu hoch werden.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

FIG. 1



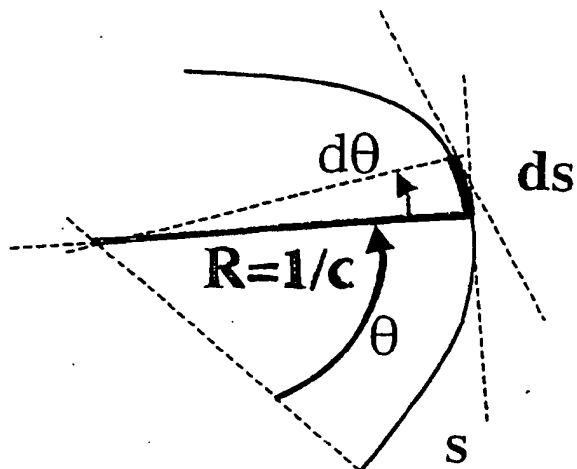


FIG. 2

FIG. 3

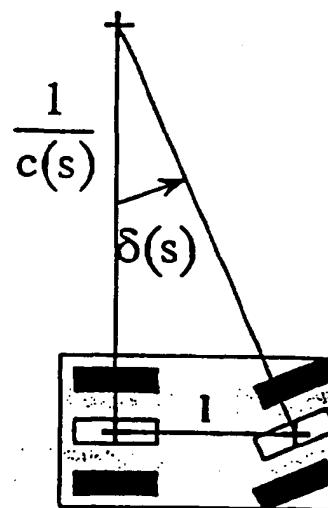
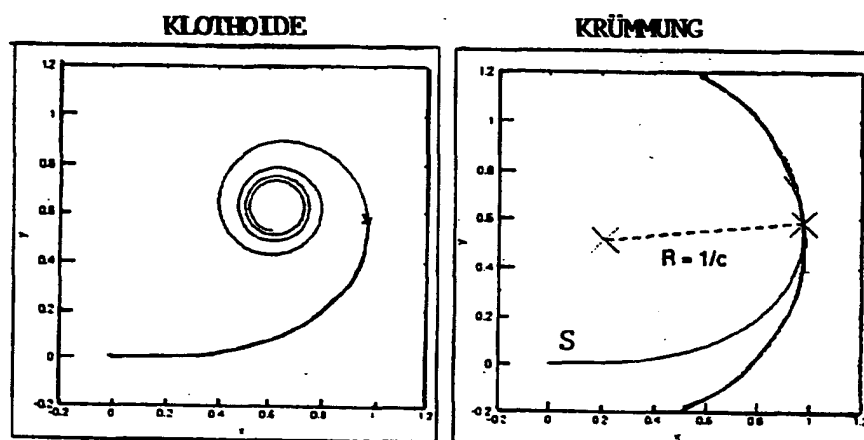


FIG. 4

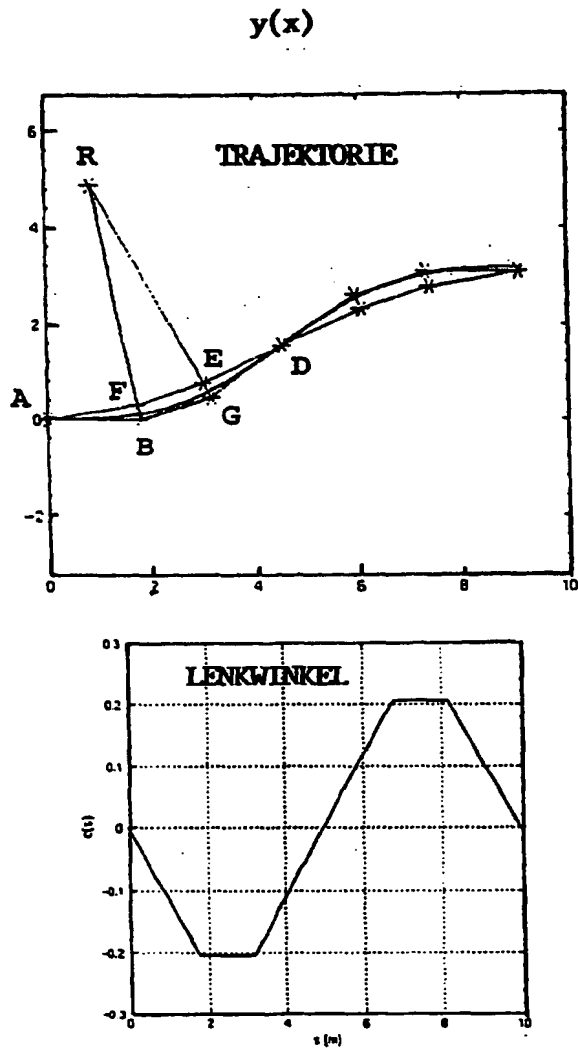


FIG. 5

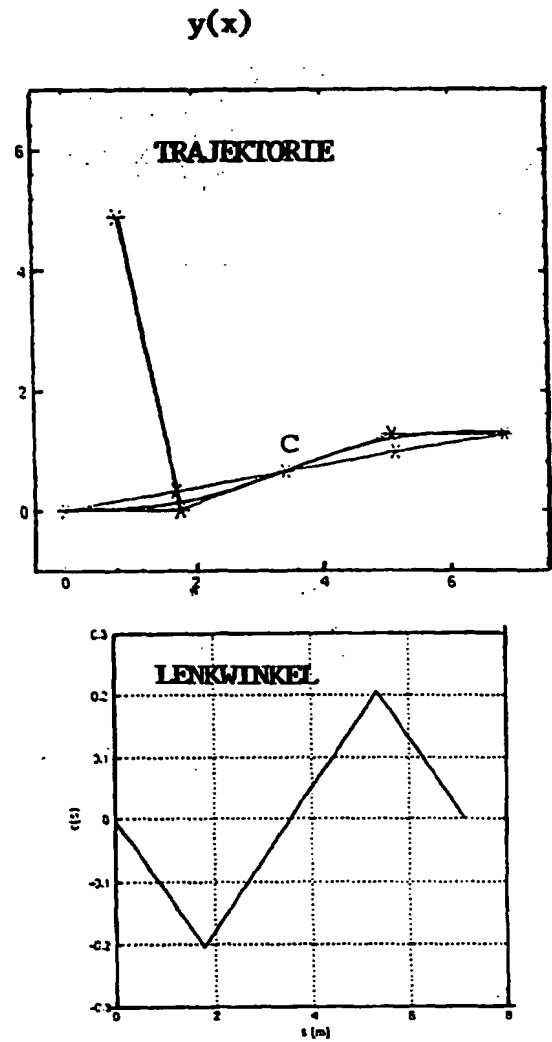


FIG. 6

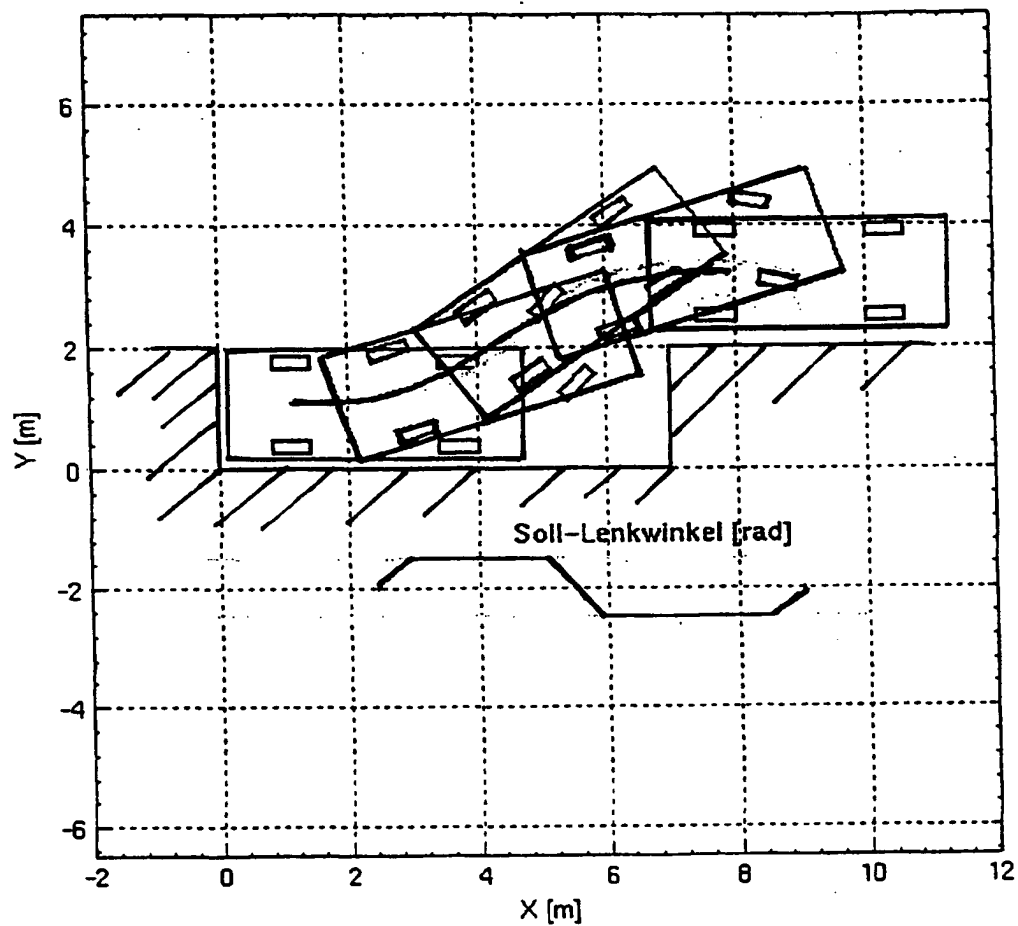


FIG. 7